

# 論文 スパイラル鉄筋で補強した重ね継手を有する梁部材の力学的特性

平山 武志\*1・渡部 太郎\*2

**要旨：**プレキャスト部材の接合の合理化を目的としたスパイラル鉄筋で補強した重ね継手を考案し、スパイラル補強鉄筋量を一定とした条件で重ね継手長を変化させた梁部材の曲げ載荷試験を行った。その結果、主鉄筋径がD25の場合、重ね継手長を主鉄筋径の15~20倍程度以上とすることで重ね継手は鉄筋降伏以降も十分な定着性能を発揮し、梁部材は継手無しの一体の梁部材としての曲げ耐力を有することがわかった。

**キーワード：**重ね継手, スパイラル鉄筋, プレキャスト部材, 曲げ性能

## 1. はじめに

鉄道構造物の建設などの時間的・空間的制約をうける建設現場において、安全性や周辺環境への影響、経済性などの理由からプレキャスト鉄筋コンクリート部材の採用が注目されている。プレキャストラーメン高架橋においては、部材の製作、輸送の問題から柱、梁などに分割された部材を施工現場で継手を形成して一体化する必要がある。新たな継手を採用するためには安全性を確保しつつ、施工性、経済性を改善する必要がある。そこで施工性が良く、コストを抑えた継手構造としてスパイラル鉄筋で補強した重ね継手を考案した。この継手は図-1のようにラーメン高架橋の柱-梁の接合に適用することを目的としている。接合方法は、最初に①接合する2つの部材(梁、柱)の端面から主鉄筋を突出させておき、片方の部材の主鉄筋にスパイラル鉄筋を配置しておく。次に②梁部材を降下させ、スパイラル鉄筋を横移動、または伸縮させることにより所定の位置に配置する。最後に③コンクリートを場所打ちする。

本研究では主鉄筋にD25を使用し、材質は実際の設計を考慮してSD390とした。スパイラル鉄筋はかぶり内に配置されることを考慮してステンレス材とした。スパイラル鉄筋の補強量(径、ピッチ)一定として、重ね継手長を変化させて梁の曲げ載荷試験を行った。

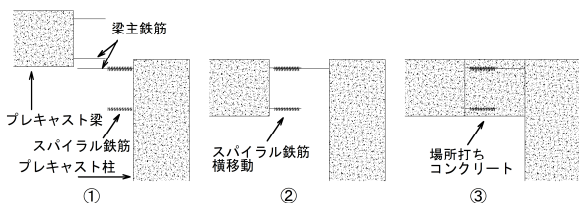


図-1 スパイラル鉄筋で補強した重ね継手構造と施工手順の案

## 2. 梁の曲げ載荷試験

### 2.1 試験概要

#### (1) 試験体概要

試験体の形状寸法と配筋を図-2に、試験体諸元を表-1に示す。試験体は等曲げモーメント区間に継手を設けた。主鉄筋はD25を5本配置し、継手区間にはせん断補強鉄筋(スターラップ)は配置していない。今回の試験においては、プレキャスト部材を想定した梁部分と現場打ちを想定した継手部分を一体でコンクリートの打込みを行った。鉄筋の付着に影響するパラメータである  $Cb/\phi$  ( $Cb$ : かぶりまたはあきの1/2の小さい方,  $\phi$ : 鉄筋径)は継手部のあきが主鉄筋径となるよう0.5に設定した。主鉄筋1本あたりの補強筋比は2.0%とした。本研究における補強筋比とは、スパイラル鉄筋の断面積に対するスパイラル鉄筋のピッチと直径から定まる値であり、以下の式(1)で算出される値を示している。

$$pw = \frac{2A}{bs} \quad (1)$$

ここに、pw: 補強筋比

A: スパイラル鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>)

S: スパイラル鉄筋のピッチ(mm)

b: スパイラル鉄筋の直径(mm)

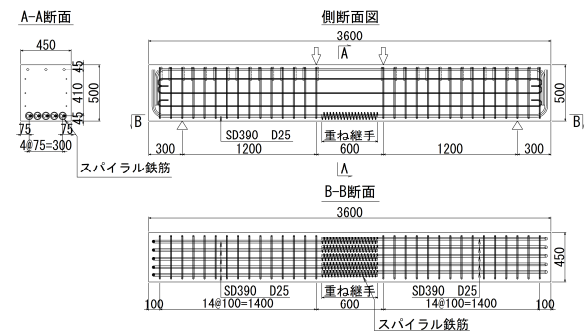


図-2 試験体概要

\*1 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター テクニカルセンター 研究員 修(工)(正会員)

\*2 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター テクニカルセンター 主幹研究員 博(工)(正会員)

表-1 試験体諸元

試験体	引張鉄筋		重ね継手長	スパイラル鉄筋		
	材質	径 (mm)		線径 (mm)	直径 (mm)	ピッチ (mm)
1-1	SD390	25	20φ	5.0	63.0	31.25
1-2			15φ			
1-3			10φ			

表-2 材料力学特性

試験体	コンクリート	引張鉄筋			圧縮鉄筋	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	
1-1	44.4	411.2	188.7	389.5	187.5	
1-2	42.2	411.2	188.7	355.2	190.8	
1-3	40.4	411.2	188.7	355.2	190.8	

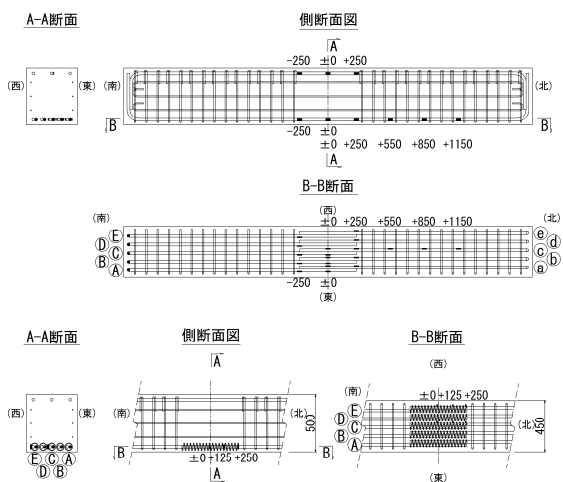


図-3 試験体 1-1 のゲージ位置図

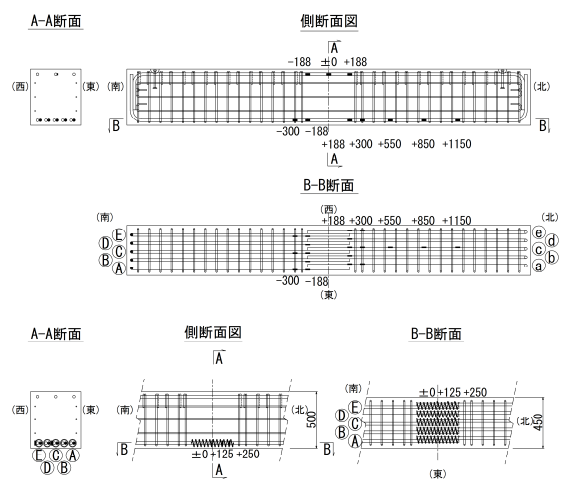


図-4 試験体 1-2 のゲージ位置図

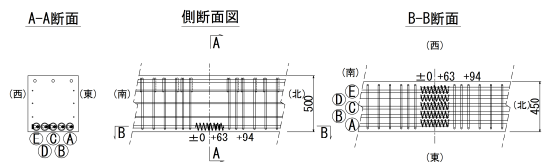
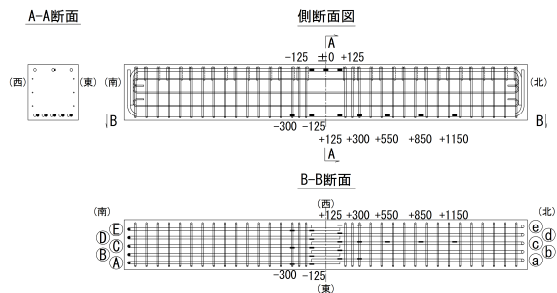


図-5 試験体 1-3 のゲージ位置図

## (2) 材料の力学特性

### a)コンクリート

コンクリートは普通コンクリートとし、載荷時の圧縮強度を表-2 に示す。

### b)鉄筋

使用した鉄筋の諸元を表-2 に示す。材質は引張鉄筋を SD390、圧縮鉄筋と帯鉄筋を SD345 とした。

### c)スパイラル鉄筋

使用したスパイラル鉄筋は市販の【JIS G 4314 : ばね用ステンレス鋼線】であり、直径 63mm、線径 5mm、ピッチ 31.25mm、材質は SUS304WPB(引張強度 1,350 ~ 1,600N/mm<sup>2</sup>) である。

## (3) 載荷方法と計測項目

載荷方法は図-2 に示すように 4 点曲げ載荷とし、図-3~図-5 に示したように主鉄筋、スパイラル鉄筋にゲージを貼付けてひずみを計測した。ひずみ計測位置は梁中央からの水平距離で示している。変位量は載荷点とスパン中央において計測した。載荷は変位制御とし、引張鉄筋が降伏するまでは鉛直荷重が 100kN 増加する毎に、引張鉄筋降伏後はスパン中央変位が 5mm 増加する毎に載荷を中断しひび割れ進展状況の観察を行った。

## 2.2 試験結果と考察

### (1) 破壊形態

写真-1~写真-6 に各試験体の破壊状況を示す。試験体 1-1 はスパイラル筋で補強した重ね継手範囲には顕著なひび割れは発生しなかった。重ね継手範囲両側の曲げひび割れ幅が大きく開き、その曲げひび割れは引張鉄筋より上側から徐々にスパン中央に向かって斜め方向に進展した。最終的には圧縮縁のコンクリートが圧壊した。

試験体 1-2 は 1-1 同様にスパイラル鉄筋補強部分を避けて回り込むように曲げひび割れが進展したが、引張鉄筋降伏以降は継手区間の下面に軸方向鉄筋の方向の割裂ひび割れが進展し、圧縮縁が圧壊する前に鉛直荷重が低下し終局を迎えた。

試験体 1-3 は 1-2、1-3 と同様にスパイラル補強区間外より曲げひび割れが進展した。引張鉄筋降伏前からスパイラル鉄筋補強区間下面に軸方向鉄筋の方向の割裂ひび割れが進展し終局を迎えた。

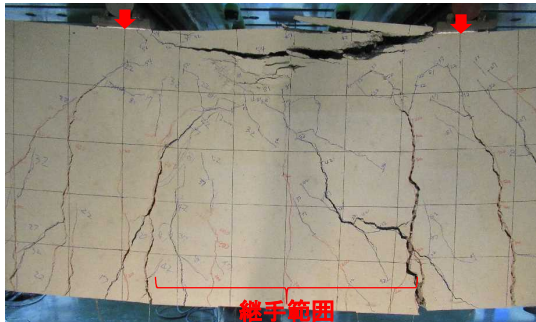


写真-1 試験体 1-1 側面破壊状況  
(スパン中央変位 72mm 付近)



写真-2 試験体 1-1 下面破壊状況  
(スパン中央変位 9mm 付近)

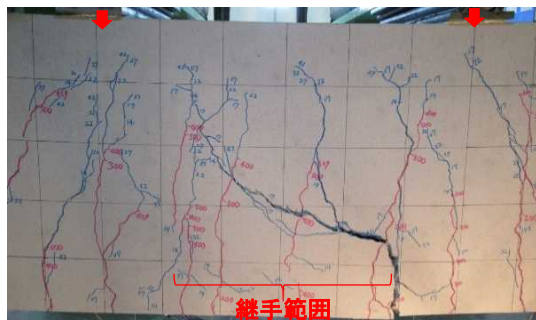


写真-2 試験体 1-2 側面破壊状況  
(スパン中央変位 42mm 付近)

## (2) 降伏荷重と破壊荷重

引張鉄筋の降伏荷重と部材の破壊荷重を表-3 に示す。表中の計算値は鉄道構造物等設計標準<sup>1)</sup>にしたがって算出した降伏曲げモーメント、曲げ耐力を載荷荷重に換算したものである。計算に使用した材料特性値は材料試験値を用いた。降伏荷重の実験値の計算値に対する比は、試験体 1-1 が 1.08、試験体 1-2 が 1.06、試験体 1-3 が 0.95 (この時引張鉄筋 5 本のうち 2 本のみ降伏している状態) であった。破壊荷重の実験値の計算値に対する比は、試験体 1-1 が 1.22、試験体 1-2 が 1.14、試験体 1-3 が 0.88 であった。上記の結果より、本試験の範囲においては、

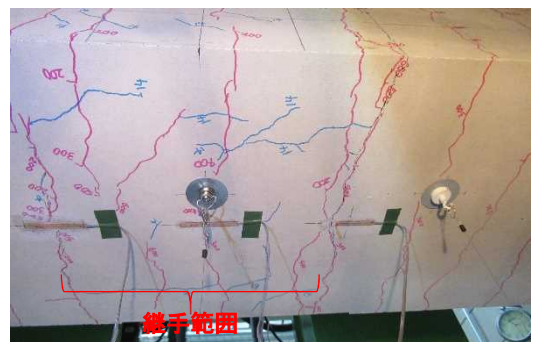


写真-4 試験体 1-2 下面破壊状況  
(スパン中央変位 14mm 付近)

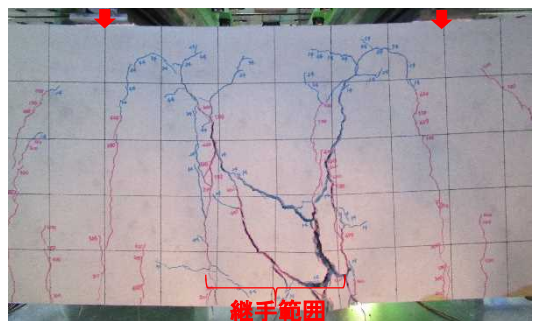


写真-5 試験体 1-3 側面破壊状況  
(スパン中央変位 54mm 付近)



写真-2 試験体 1-3 下面破壊状況  
(スパン中央変位 14mm 付近)

表-3 降伏荷重と破壊荷重

試験体	降伏荷重			最大荷重		
	実験値	計算値	Pyexp /Pycal	実験値	計算値	Puexp /Pucal
	Pyexp (kN)	Pycal (kN)		Puexp (kN)	Pucal (kN)	
1-1	796.3	736.4	1.08	975.4	798.2	1.22
1-2	777.2	734.6	1.06	904.3	796.3	1.14
1-3	696.7*1	733.1	0.95	696.7*1	794.8	0.88

\*1: 引張鉄筋2/5本が降伏

スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を15φ以上にすることで設計上の曲げ降伏耐力および曲げ耐力を満足する性能を有しているといえる。

(3) 鉛直荷重と変位

図-6 に鉛直荷重とスパン中央変位との関係を示す。試験体 1-1 は鉄筋降伏後の変形性能に富んだ曲げ破壊性状を示している。試験体 1-2 は引張鉄筋の降伏後スパン中央変位 43mm 程度までは試験体 1-1 と同様の挙動を示したが、その後、荷重が大きく低下した。荷重が低下した原因は、引張鉄筋方向の割裂ひび割れが進展したためと考えられる。試験体 1-3 はスパン中央変位 5mm 以降剛性が低下し始め、10mm 程度で最大荷重を示した。上記の結果より、スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を20φ以上にすることで一般的な鉄筋コンクリートと同等の曲げ破壊性状を示すことが確認できた。

(4) 鉛直荷重と鉄筋ひずみ

図-7 に試験体 1-1 の鉛直荷重と部材軸方向の各位置における鉄筋ひずみとの関係を部材軸方向別に示す。重ね継手の端部である+250mm の位置（スパン中央から 250mm の位置）の鉄筋ひずみが先行して降伏し、その後+550mm が降伏した。継手中心の0mm 位置（スパン中央）は降伏に至らなかった。

図-8、図-9 に試験体 1-1 の鉛直荷重と継手端部位置の引張鉄筋ひずみとの関係を断面内の 5 本の引張鉄筋で比較したものを示す。図-8 は横軸を鉄筋降伏ひずみを超える程度までの範囲を示した図で、図-9 は横軸を鉄筋降伏後のひずみの大きな領域まで示した。西側に配置した鉄筋 D、鉄筋 E が先行して降伏し、その後鉄筋 A、B、C が降伏した。全ての鉄筋において、ひずみが大きく進展している。

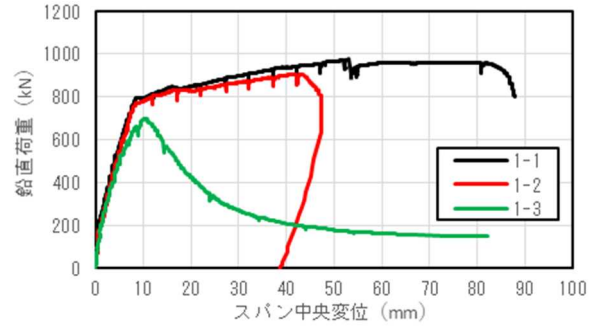


図-6 荷重変位関係

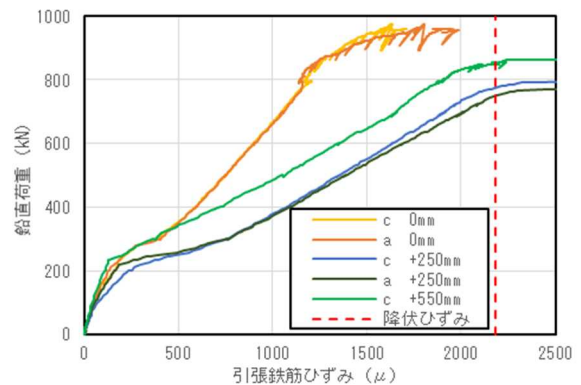


図-7 試験体 1-1 引張鉄筋ひずみ分布

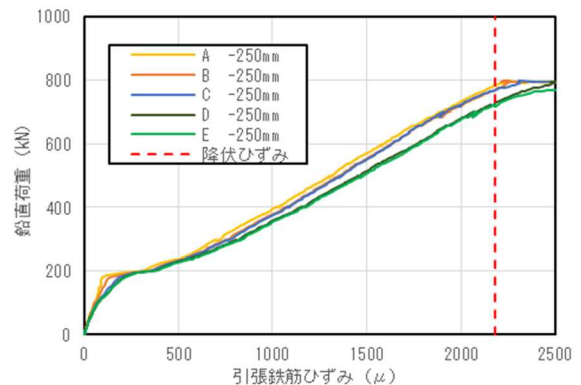


図-8 試験体 1-1 継手端部引張鉄筋ひずみ 1

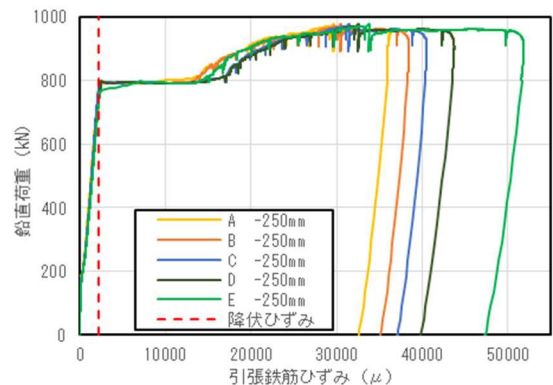


図-9 試験体 1-1 継手端部引張鉄筋ひずみ 2

図-10、図-11 に試験体 1-2 の鉛直荷重と継手端部位置の引張鉄筋ひずみとの関係を断面内の 5 本の引張鉄筋で比較したものを示す。引張鉄筋の降伏以降試験体 1-1 と同様の挙動を示したが、鉛直荷重 800kN 付近から鉄筋 A、鉄筋 B が荷重の増加に対してひずみの増加する比率が小さくなった。このとき試験体下面には部材軸方向のひび割れが発生しており、重ね継手の横拘束力が低下したことにより負担できる引張力が低下したことが引張鉄筋ひずみ増加が小さくなった原因と考えられる。

図-12 に試験体 1-3 の鉛直荷重と継手端部位置の引張鉄筋ひずみとの関係を断面内の 5 本の引張鉄筋で比較したものを示す。鉛直荷重 400kN 付近で筋 A が荷重の増加に対してひずみの増加する比率が小さくなった。このとき試験体下面には部材軸方向のひび割れが発生しており、重ね継手の横拘束力が低下したことにより引張鉄筋が負担できる引張力が低下したことが原因と考えられる。

図-13～図-18 に鉛直荷重とスパイラル鉄筋ひずみの関係を断面中央部、西面側について示す。各試験体とも鉛直荷重 200kN 付近からスパイラル鉄筋のひずみが増加している。鉛直荷重 200kN 付近で付着割裂ひび割れが発生したため、スパイラル鉄筋のひずみが進展したのと考えられる。また、重ね継手の自由端付近でのひずみが大きい傾向にある。スパイラル鉄筋に圧縮ひずみが生じている箇所があるが、これは梁の曲げ変形に追従してスパイラル鉄筋が曲げ変形した際に、スパイラル素線がトラス構造の斜材のような引張領域と圧縮領域を形成したためと推察される。

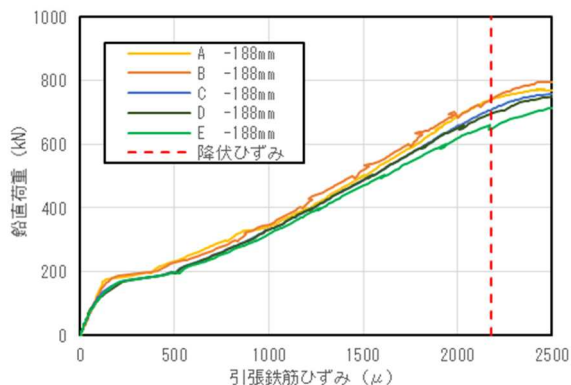


図-10 試験体 1-2 継手端部引張鉄筋ひずみ 1

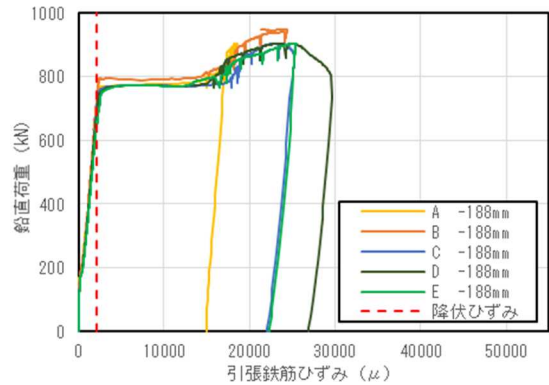


図-11 試験体 1-2 継手端部引張鉄筋ひずみ 2

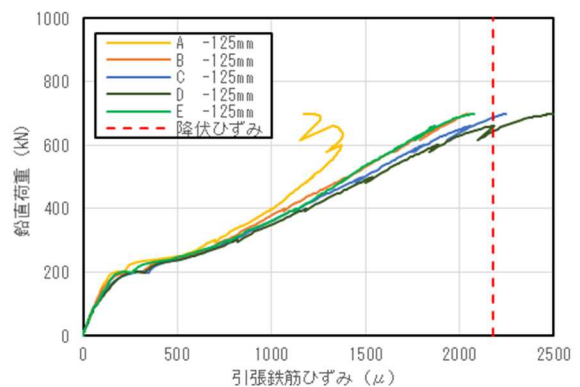


図-12 試験体 1-3 継手端部引張鉄筋ひずみ

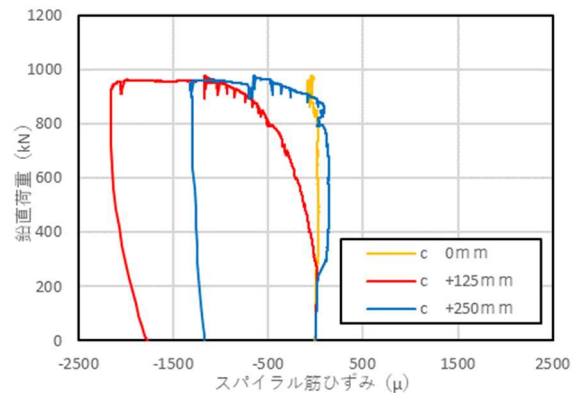


図-13 試験体 1-1 中央スパイラル鉄筋ひずみ

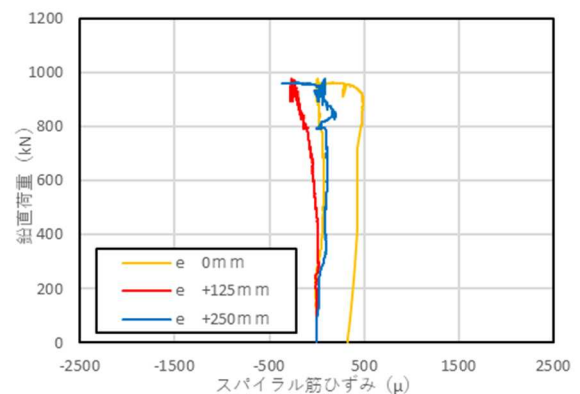


図-14 試験体 1-1 西面側スパイラル鉄筋ひずみ

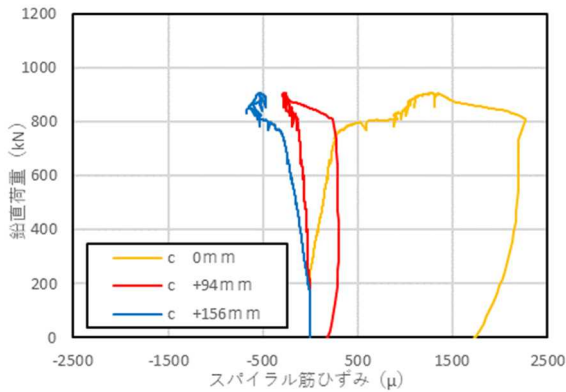


図-15 試験体 1-2 中央スパイラル鉄筋ひずみ

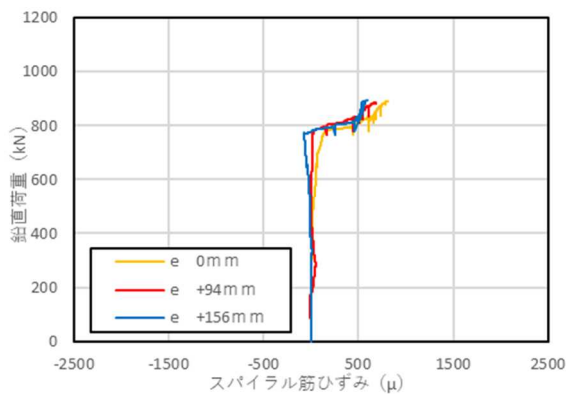


図-16 試験体 1-2 西面側スパイラル鉄筋ひずみ

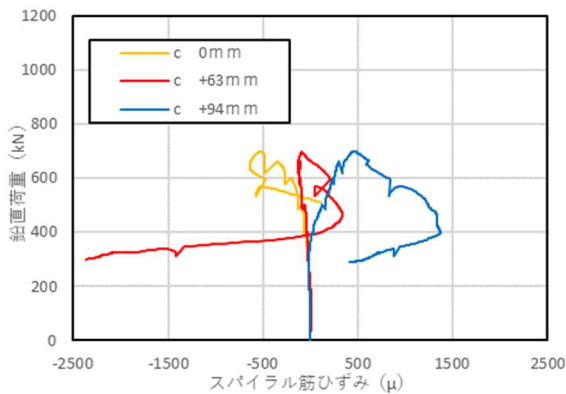


図-17 試験体 1-3 中央スパイラル鉄筋ひずみ

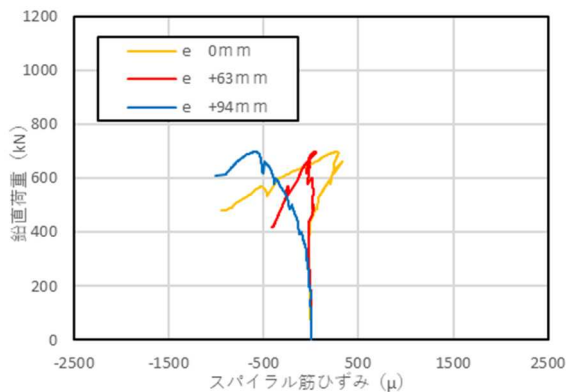


図-18 試験体 1-3 西面側スパイラル鉄筋ひずみ

### 3. まとめ

#### (1) 破壊形態

スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $20\phi$  とした試験体 1-1 は、重ね継手区間にひび割れはほとんど発生せず、圧縮縁のコンクリートが圧壊することで終局を迎えた。スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $15\phi$  とした試験体 1-2 は、引張鉄筋降伏以降は継手区間の下面に割裂ひび割れが進展し、圧縮縁が圧壊する前に終局を迎えた。スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $10\phi$  とした試験体試験体 1-3 は引張鉄筋降伏前からスパイラル鉄筋補強区間下面に割裂ひび割れが進展し終局を迎えた。

#### (2) 降伏荷重と破壊荷重

スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $15\phi$  以上にする事で設計上の曲げ降伏耐力および曲げ耐力を満足した。

#### (3) 鉛直荷重と変位

スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $20\phi$  とすることで鉄筋降伏以降の変形性能に富んだ曲げ破壊性状を示した。

#### (4) 鉛直荷重と鉄筋ひずみ

スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $20\phi$  とした試験体 1-1 は重ね継手端部で引張鉄筋が降伏し、ひずみの値は大きく進展した。スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $15\phi$  とした試験体 1-2 は重ね継手端部で引張鉄筋が降伏し、その後割裂ひび割れの発生に伴い一部の引張鉄筋のひずみの増加率が低下した。スパイラル鉄筋で補強した重ね継手長を  $10\phi$  とした試験体 1-3 は重ね継手端部で引張鉄筋が降伏する前に割裂ひび割れが発生し、引張鉄筋のひずみの増加が止まった。

上記より、筆者らが考案したスパイラル鉄筋で補強した重ね継手を用いた梁部材は、鉄筋径 D25、材質 SD390、補強筋比 2.0% の条件下において、重ね継手長を鉄筋径の 20 倍にすることで曲げ破壊性状を示し、重ね継手長を鉄筋径の 15 倍とすることで、引張鉄筋の降伏以上の定着強度を発揮し、計算上の曲げ耐力以上の耐力を有することが確認できた。

#### 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, pp.134-140 (2004)